基于判别分析的玉米茎腐病发生程度预测模型

张家齐[1]， 张 毅[2*]， 石 洁[1*]， 张笑晴[2]， 郭 宁[1]， 张海剑[1]

（1. 河北省农林科学院植物保护研究所，农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室，河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心，保定 071000；2. 全国农业技术推广服务中心，北京 100125）

摘要 对河南省夏玉米区2003年－2018年玉米茎腐病发生、流行情况进行分析，选择制约茎腐病发生流行的主要气象因素，采用判别分析法建立茎腐病发生的两阶段预测模型。应用2003年－2014年的数据进行模型训练，利用2015年－2018年数据进行测试。结果表明，第一阶段预测模型历史回代自身验证准确率为86%，交互验证准确率为79.1%；第二阶段自身验证准确率为83.7%，交互验证准确率为76.7%。应用2015年－2018年数据进行测试，第一阶段预测准确率75%，第二阶段预测准确率85%。说明利用判别分析建立玉米茎腐病流行模型是可行的。

关键词 玉米茎腐病； 判别分析； 预测模型

中图分类号： S 431.11 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2019032

Prediction model of corn stalk rot based on discriminant analysis

ZHANG Jiaqi[1]， ZHANG Yi[2*]， SHI Jie[1*]， ZHANG Xiaoqing[2]， GUO Ning[1]， ZHANG Haijian[1]

（1. *Institute of Plant Protection*, *Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences*, *Integrated Pest Management Center of Hebei Province*, *Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *Baoding* 071000, *China*; 2. *The National Agro-Tech Extension and Service Center*, *Beijing* 100125, *China*）

Abstract We selected the main factors as restrictive elements for the studies of occurrence and epidemics of corn stalk rot in Henan province from 2003 to 2018. By using the method of discriminant analysis, we built up a two-stage prediction model. We set up the model based on the data of 2003－2014 and used the data of 2015－2018 to test the model. The results showed that the accurate rate of the first-stage prediction model was 86% in self-validation and 79.1% in cross-validation; the accurate rate of the second-stage prediction model was 83.7% in self-validation and 76.7% in cross-validation. Tested with the data of 2015－2018, the accurate rates of the first and second prediction models were 75% and 85%, respectively. The results also proved a feasible method for predicting corn stalk rot by using discriminant analysis.

Key words corn stalk rot； discriminant analysis； prediction model

玉米是我国的三大主粮作物之一，同时又是重要的饲料和工业原料，其种植和生产与我国的农业和国民经济发展关系密切。玉米茎腐病(corn stalk rot)作为玉米常见病害，发病后会导致玉米茎秆基部维管束坏死，阻碍营养物质和水分的运输，从而导致玉米整株枯死，灌浆期提前结束[1]。玉米茎腐病不仅会影响玉米的产量更会造成玉米籽粒品质下降，同时茎腐病的发生还会影响玉米机械化收获技术的推进，这将会极大地影响我国未来玉米产业的发展[2]。玉米茎腐病是由镰孢菌 *Fusarium*、腐霉 *Pythium* 等多种致病菌联合侵染引起的，大田发生率一般为10%～15%，严重地块高达80%以上，甚至完全枯死[3]。生产上主要采取化学种衣剂包衣和增施钾肥的方式进行该病害的防治，但是由于种衣剂持效期不足，防治效果十分有限，仅在30%左右[4]，因此在适宜的时期进行喷雾防治成为防治玉

收稿日期： 2019－01－17 **修订日期：** 2019－03－08
基金项目： 国家重点研发计划(2018YFD0200602)；国家现代农业产业技术体系(CARS-02)
* 通信作者 E-mail：张毅 zhangyi@agri.gov.cn；石洁 shij99@163.com

米茎腐病最为有效的措施。为了实现农药使用减施增效的目标，减少农药使用次数，有针对性地进行施药十分重要，而准确测报是保证有针对性地施药的关键，病害流行模型的建立也成为防治该病的重要研究方向。目前有关玉米茎腐病流行预测模型的研究较少，仅王秀萍等[5]根据气象资料建立了玉米茎腐病发生等级与气象因子间的快速聚类模型。

判别分析(discriminant analysis)是多元统计分析中用于判别样品所属类型的一种统计方法，是对已知有确切类别的一批样品资料，根据其判别指标应用一定的统计方法建立判别函数(discriminant function)，进而判别未知分类样品归属问题的一种方法[6]。判别分析常用于气象预测预报工作，在病虫害预测预报领域也有应用，如张金[7]、丁世飞等[8]应用判别分析建立判别关系式分别对棉蚜和二代玉米螟的发生进行了预测预报，梁振中等[9]应用判别分析对小麦赤霉病的发生进行长期预测、云晓微等[10]预测了高空风和小麦条锈病发生之间的关系。本试验以河南省数据为例，通过对 2003 年－2018 年各试验站玉米茎腐病田间发生情况的监测结果，结合试验站附近的气象观测站点的气象资料，对 108 个与玉米茎腐病发生相关的气象因子进行相关性分析，并选取与茎腐病发病等级相关性较大的气象因子，应用判别分析建立模型，为玉米茎腐病预测预报及流行规律的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 资料来源

2003 年－2018 年(2010 年数据缺失)各试验站点玉米茎腐病发生等级资料来自中国农业科学技术出版社出版的《中国玉米新品种动态》，对应气象站点的气象信息来自中国气象数据网(http://data.cma.cn/)。

1.1.2 资料选取

试验站点选择需要满足以下条件：1)有连续多年观测记录且包含多个发病等级的站点，2)在中国气象数据网上可以查询到附近气象站的数据且该气象站非高山站。由于河南省是我国玉米种植大省，试验站各年度间茎腐病发病等级变化较大，且河南省大部分区域属于平原地区，土壤条件和耕作制度较为一致，使用河南省的数据建立茎腐病预测模型，可以更大程度地减少土壤和耕作制度等因素对模型的影响。最终选取了表 1 中所示的 6 个试验站进行数据分析。由于不同品种玉米对茎腐病抗性不同[11]，发病情况也会有所差异，本研究中仅选用各试验站对照品种‘郑丹 958’的发病情况作为当年该试验站茎腐病发病等级数据，各试验站发病等级数据见表 1。

表 1 试验站点发病等级

Table 1 Disease degrees in different testing stations

地点 Location	发病等级 Disease degree														
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
河南宝丰 Baofeng, Henan	1	2	2	2	1	1	1	3	1	1	3	2	1	3	1
河南郑州 Zhengzhou, Henan			1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1
河南商丘 Shangqiu, Henan								2	1	1	2	1	1	1	1
河南洛阳 Luoyang, Henan	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
河南南阳 Nanyang, Henan	1	1	1	1	1	1									
河南安阳 Anyang, Henan									1	1	1	1	1	1	1

1.1.3 资料整理

为了简化模型提高模型的实用性，玉米茎腐病发病等级按照防治的必要性分为 3 级，发病株率 0～10%，一般无需防治为轻度发病，记为 1 级；发病株率 10.1%～30%为中度发病，记为 2 级；发病株率 30.1%～100%为重度发病，记为 3 级。各试验站玉米种植的时间多集中在每年 6 月 20 日左右，在 7 月下旬至 8 月初玉米进入散粉期，根据晋齐鸣等[12]的研究，此时为玉米茎腐病侵染的盛期，故调查从 7 月下旬开始；茎腐病一般在成熟后期表现明显症状，此时为茎腐病调查的主要时期，故调查应在 9 月上旬结束；综上所述本研究选取各观测年份 7 月 16 日－9 月 15 日的气象数据进行分析。以每 5 d 为一个阶段将各月分成 6 个阶段(遇到有 31 d 的月

份最后一个阶段为 6 d)对其相关的气象因子进行数据整理。选取的影响茎腐病发生的气象因子为:平均气温(X_1)、平均相对湿度(X_2)、平均日照时数(X_3)、日最大降水量(X_4)、日较温差大于 3.3℃累积日数(X_5)、相对湿度高于 85%累积日数(X_6)\日照时数大于 3.5 h 累积日数(X_7)、累积降水天数(X_8)和累计降水量(X_9)。

1.2　方法

各时期气象因子与当年茎腐病发病等级的相关性分析,采用 IBM SPSS 20 分别对每个时期的 9 个气象因子与当年茎腐病发生的等级进行 Spearman 相关性分析,以相关性大小为依据选取进入判别函数的气象因子。判别分析使用贝叶斯判别函数进行判别,采用自身验证和"留一"法(leave one out)的交互验证(cross-validation)进行判别函数效果评价[6]。使用 2003 年－2014 年的数据用于模型建立,2015 年－2018 年的数据用于模型的试报应用。

2　结果与分析

2.1　各时期气象因子与当年发病等级的相关性分析

2003 年－2014 年玉米茎腐病发生等级与当年各时期的 9 个气象因子的 Spearman 相关性分析结果如表 2 所示。由表 2 可见各气象因子与茎腐病发生等级的相关性都不大,相关系数绝对值最大为 0.464。相关性较高的气象因子呈现出了在特定时间段聚集的特性,在 8.2 时期有 3 个因子与当年茎腐病发生等级呈显著相关;9.3 时期所有气象因子均与当年茎腐病发生等级呈显著或极显著相关;其他时期与当年茎腐病发生等级呈显著相关的总共仅有 2 个气象因子。

表 2　各时间段气象因子与茎腐病发病等级的相关性分析1)

Table 2　Correlation analysis between different meteorological factors and epidemic degrees of corn stalk rot

参数 Parameter	相关系数　Correlation coefficient											
	7.4	7.5	7.6	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	9.1	9.2	9.3
X_1	0.232	0.361*	0.004	−0.002	−0.383*	0.039	−0.099	−0.039	−0.077	0.098	0.137	−0.363*
X_2	−0.102	−0.202	0.084	0.152	0.273	0.164	0.125	0.122	0.269	0.207	0.224	0.464**
X_3	0.253	0.272	0.016	0.010	−0.140	−0.063	−0.069	−0.040	−0.084	−0.008	−0.174	−0.373*
X_4	−0.108	−0.117	0.124	−0.040	0.187	−0.041	−0.050	0.077	−0.171	0.100	−0.030	0.379*
X_5	0.085	0.013	0.105	0.035	−0.347*	0.121	−0.118	−0.043	0.109	−0.063	−0.105	−0.340*
X_6	−0.117	−0.181	−0.011	0.276	0.342*	0.121	0.038	0.139	0.146	0.360*	0.215	0.376**
X_7	0.223	0.234	0.102	−0.014	−0.176	−0.011	−0.039	0.008	0.006	−0.065	−0.194	−0.344**
X_8	−0.225	−0.131	0.157	−0.015	0.067	0.014	0.021	−0.005	0.178	0.145	0.148	0.423**
X_9	−0.113	−0.098	0.133	−0.019	0.237	−0.019	−0.060	0.119	−0.133	0.101	−0.015	0.375*

1) * 表示显著相关($P<0.05$),** 表示极显著相关($P<0.01$);7.4:7 月 16－20 日;7.5:7 月 21－25 日;7.6:7 月 26－31 日;8.1:8 月 1－5 日;8.2:8 月 6－10 日;8.3:8 月 11－15 日;8.4:8 月 16－20 日;8.5:8 月 21－25 日;8.6:8 月 26－31 日;9.1:9 月 1－5 日;9.2:9 月 6－10 日;9.3:9 月 11－15 日。

*, significant correlation ($P<0.05$); **, extremely significant correlation ($P<0.01$); 7.4: July 16－20; 7.5: July 21－25; 7.6: July 26－31; 8.1: Aug. 1－5; 8.2: Aug. 6－10; 8.3: Aug. 11－15; 8.4: Aug. 16－20; 8.5: Aug. 21－25; 8.6: Aug. 26－31; 9.1: Sept. 1－5; 9.2: Sept. 6－10; 9.3: Sept. 11－15.

2.2　判别函数的建立

经过相关性分析发现,8.2 和 9.3 两个时期内有较多的气象因子与当年茎腐病发生等级呈显著相关,说明在这两个时期内气象条件变化与当年茎腐病发生程度存在一定的关系,所以本研究决定采取两段法进行预测预报。即第一阶段根据 8.2 时期的气象数据先建立一组判别函数模型,用于在茎腐病侵染早期对茎腐病发生情况进行预测预报,以方便农民及时用药降低损失;第二阶段根据 9.3 时期与玉米茎腐病发生相关系数最大的几个因子建立判别函数,预测当年玉米茎腐病发生的最终等级,指导农民及时收获将产量损失降至最低。考虑到与病害发生直接相关的气象条件包括气温、湿度、日照和降水四个方面,最终选取 8.2 时期的平均气温(X_1)、相对湿度高于 85%累积日数(X_6)、日照时数大于 3.5 h 累积日数(X_7)和累计降水量(X_9)4 个因子;9.3 时期的平均相对湿度(X_2)、日较温差大于 3.3℃累积日数(X_5)、日照时数大于 3.5 h 累积日数(X_7)和累积

降水天数(X_8)4 个因子进入模型,最终两阶段各级别判别分析数学模型如下:

第一阶段使用 8.2 时期的 X_1、X_6、X_7 和 X_9 进行预测:

$y1=9.035X_1+1.672X_6-4.704X_7+0.251X_9-118.605$;

$y2=8.686X_1+1.959X_6-4.434X_7+0.221X_9-111.934$;

$y3=8.014X_1+2.858X_6-4.082X_7+0.331X_9-100.363$。

第二阶段使用 9.3 时期的 X_2、X_5、X_7 和 X_8 进行预测:

$y1=1.531X_2+20.398X_5+5.679X_7+8.428X_8-117.245$;

$y2=1.607X_2+20.573X_5+6.076X_7+9.007X_8-128.027$;

$y3=1.637X_2+22.253X_5+5.837X_7+10.385X_8-142.336$。

式中,$y1$—发病等级为 1 级;$y2$—发病等级为 2 级;$y3$—发病等级为 3 级。在应用时,将待判别的气象因子数据代入各个等级的判别函数,y 值最高的等级即为预测的当年茎腐病发生的等级。

2.3 判别函数效果评价

采用自身验证和"留一"法交互验证两种方法对判别函数进行效果评价。自身验证即将训练样本依次代入判别函数进行判别,"留一"法交互验证即每次使用样本数减 1 个样本建立判别函数,并用剩余的一个样本进行判别[6]。检验结果第一阶段验证的结果自身验证准确率为 86%,交互验证准确率为 79.1%;第二阶段验证结果自身验证准确率为 83.7%,交互验证准确率为 76.7%。对于各个病级判别的准确率,采用两种方法验证,第一阶段模型,1 级判别准确率分别为 97.1%和 94.3%,2 级判别准确率均为 0%,3 级判别准确率均为 100%和 33.3%;第二阶段模型 1 级判别准确率分别为 94.3%和 88.6%,2 级判别准确率为 0%,3 级判别准确率分别为 100%和 66.7%,具体判别结果见表 3 和表 4。

表 3 第一阶段自身验证及交互验证结果

Table 3 First-stage results of self-validation and cross-validation

验证方法 Validation method	实际等级 Grade	预测等级 Predictive degree			合计 Total	分类精度/% Precision
		1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3		
自身验证 Self-validation	1 级	34	0	1	35	97.1
	2 级	5	0	0	5	0.0
	3 级	0	0	3	3	100.0
交互验证 Cross-validation	1 级	33	0	2	35	94.3
	2 级	4	0	1	5	0.0
	3 级	2	0	1	3	33.3

表 4 第二阶段自身验证及交互验证结果

Table 4 Second-stage results of self-validation and cross-validation

验证方法 Validation method	实际等级 Grade	预测等级 Predictive degree			合计 Total	分类精度/% Precision
		1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3		
自身验证 Self-validation	1 级	33	0	2	35	94.3
	2 级	5	0	0	5	0.0
	3 级	0	0	3	3	100.0
交互验证 Cross-validation	1 级	31	1	3	35	88.6
	2 级	5	0	0	5	0.0
	3 级	1	0	2	3	66.7

为进一步检测判别函数的可靠程度,以未参加模型建立的 2015 年—2018 年 5 个试验站点的数据进行试报,各站点的气象信息和预测结果如表 5、6 所示。使用本套判别分析模型,第一阶段试报准确率为 75%,第二阶段试报准确率为 85%。

表 5　第一阶段 2015 年—2018 年试报结果

Table 5　First-stage results of model tested with data of 2015—2018

站点 Station	年份 Year	气象因子 Meteorologic factor				判别式得分 Score of discriminant function			判别结果 Discriminant result	实际结果 Actual result	评定 Assess
		X_1	X_6	X_7	X_9	1 级	2 级	3 级			
河南宝丰 Baofeng, Henan	2015	26.88	1	5	8.5	104.54	103.20	100.32	1	2	错误
河南宝丰 Baofeng, Henan	2016	26.58	2	1	43.4	131.07	127.99	128.64	1	1	正确
河南宝丰 Baofeng, Henan	2017	28.52	0	4	33.1	128.56	125.35	122.82	1	3	错误
河南宝丰 Baofeng, Henan	2018	30.36	0	5	5.4	133.53	130.79	124.32	1	1	正确
河南郑州 Zhengzhou, Henan	2015	27.84	0	3	0.4	118.92	116.66	110.64	1	2	错误
河南郑州 Zhengzhou, Henan	2016	27.12	4	2	0.4	123.80	122.68	120.38	1	1	正确
河南郑州 Zhengzhou, Henan	2017	30.24	0	4	2.1	136.32	133.45	126.35	1	1	正确
河南郑州 Zhengzhou, Henan	2018	32.00	0	5	0.6	147.14	143.97	135.88	1	1	正确
河南商丘 Shangqiu, Henan	2015	26.44	4	4	10.3	110.73	110.09	110.04	1	1	正确
河南商丘 Shangqiu, Henan	2016	26.32	5	2	59.6	133.10	130.75	136.40	3	1	错误
河南商丘 Shangqiu, Henan	2017	27.02	5	2	90.5	147.17	143.65	152.23	3	1	错误
河南商丘 Shangqiu, Henan	2018	30.68	1	5	54.6	150.43	146.38	146.01	1	1	正确
河南洛阳 Luoyang, Henan	2015	26.58	0	5	0.4	98.12	96.85	92.37	1	1	正确
河南洛阳 Luoyang, Henan	2016	26.08	0	4	0.2	98.26	96.90	92.38	1	1	正确
河南洛阳 Luoyang, Henan	2017	28.92	0	4	18.6	128.53	125.63	121.23	1	1	正确
河南洛阳 Luoyang, Henan	2018	29.42	3	5	2	129.20	127.75	124.24	1	1	正确
河南安阳 Anyang, Henan	2015	26.38	0	4	0	100.92	99.46	94.72	1	1	正确
河南安阳 Anyang, Henan	2016	25.36	3	2	15.4	109.99	108.74	108.38	1	1	正确
河南安阳 Anyang, Henan	2017	27.78	0	4	18.7	118.26	115.75	112.13	1	1	正确
河南安阳 Anyang, Henan	2018	29.26	1	5	7	125.66	123.54	118.89	1	1	正确

表 6　第二阶段 2015 年—2018 年试报结果

Table 6　Second-stage results of model tested with data of 2015—2018

站点 Station	年份 Year	气象因子 Meteorologic factor				判别式得分 Score of discriminant function			判别结果 Discriminant result	实际结果 Actual result	评定 Assess
		X_2	X_5	X_7	X_8	1 级	2 级	3 级			
河南宝丰 Baofeng, Henan	2015	77.0	5	4	1	133.80	131.89	128.73	1	2	错误
河南宝丰 Baofeng, Henan	2016	68.6	5	2	1	109.58	106.24	103.30	1	1	正确
河南宝丰 Baofeng, Henan	2017	75.6	5	4	0	123.23	120.63	116.05	1	3	错误
河南宝丰 Baofeng, Henan	2018	80.6	5	2	3	144.82	143.53	143.72	1	1	正确
河南郑州 Zhengzhou, Henan	2015	66.4	5	3	1	111.89	108.78	105.54	1	2	错误
河南郑州 Zhengzhou, Henan	2016	72.6	5	1	1	110.03	106.59	104.01	1	1	正确
河南郑州 Zhengzhou, Henan	2017	69.0	5	5	0	118.80	116.10	111.08	1	1	正确
河南郑州 Zhengzhou, Henan	2018	70.4	4	2	3	108.80	106.57	104.77	1	1	正确
河南商丘 Shangqiu, Henan	2015	79.0	5	4	1	136.87	135.10	132.00	1	1	正确
河南商丘 Shangqiu, Henan	2016	79.2	5	4	1	137.17	135.42	132.33	1	1	正确
河南商丘 Shangqiu, Henan	2017	82.8	5	5	0	139.94	138.28	133.68	1	1	正确
河南商丘 Shangqiu, Henan	2018	79.8	5	2	2	135.16	133.24	132.02	1	1	正确
河南洛阳 Luoyang, Henan	2015	66.6	5	4	1	117.88	115.18	111.70	1	1	正确
河南洛阳 Luoyang, Henan	2016	72.8	5	4	2	135.80	134.15	132.24	1	1	正确
河南洛阳 Luoyang, Henan	2017	64.8	5	5	0	112.37	109.35	104.21	1	1	正确
河南洛阳 Luoyang, Henan	2018	73.2	5	2	3	133.48	131.64	131.60	1	1	正确
河南安阳 Anyang, Henan	2015	67.2	5	4	1	118.80	116.14	112.68	1	1	正确
河南安阳 Anyang, Henan	2016	72.6	5	3	2	129.82	127.75	126.07	1	1	正确
河南安阳 Anyang, Henan	2017	65.8	5	4	0	108.22	104.88	100.01	1	1	正确
河南安阳 Anyang, Henan	2018	72.6	5	2	3	132.56	130.68	130.62	1	1	正确

3 讨论

在玉米品种抗性水平一致的前提下，玉米茎腐病的发生、流行与否及流行程度主要取决于易感病生育期、适宜发病的气候条件与大量的菌源这三个因素及其吻合程度，玉米茎腐病属于土传病害所以菌源量对茎腐病的发生影响不大，主要影响茎腐病发生、流行与否的因素在于易感病生育期与适宜发病的气候条件的吻合程度。应用玉米易感茎腐病的生育期内适宜发病的气候条件建立的玉米茎腐病预测模型才更具有科学性和可信性。本研究中应用大数据分析的思路，通过玉米各生育期不同气象因子与茎腐病发生的相关性大小最终确定进入判别方程的气象因子。本研究中第一阶段预测模型选择的时间段为8月初期，相关性分析结果显示茎腐病的发生与8月初期的空气湿度和降水量呈正相关，而这一时期正是玉米的散粉盛期，晋齐鸣等[12]通过田间试验证明玉米的散粉盛期，是茎腐病致病菌侵染植株根系的高峰期，此时降水量大空气湿度高，十分有利于病原菌的侵染和扩展，导致茎腐病的发生；第二阶段预测模型选择的时间段为9月中期，相关性分析显示此阶段较高的空气湿度和较长的连续降水与茎腐病发生的严重程度正相关，对应到玉米的生育期为玉米的乳熟期，此时出现暴雨后骤晴或久雨乍晴，气温回升快的天气会加速致病菌的侵染扩展导致受侵染的玉米迅速显现茎腐病的症状[13]。大数据分析体现的气象因子与茎腐病发生程度的相关性与田间普遍经验认为的易于感病生育期和气象因子相一致，更进一步说明本研究应用判别分析建立的预测模型的可靠性。

通过2015年－2018年的试报结果发现，应用8月份气象因子预测的第一阶段模型正确率较第二阶段模型正确率低，分析原因可能在于此时通过气象数据建立茎腐病预测模型，预测时期与最终调查时期间隔较长，受到其他因素的影响较多，导致模型试报准确性不如9月份的第二阶段预测模型，但是在茎腐病侵染早期对茎腐病情况进行预测预报，可以方便农技人员及时做出应对方案，减少产量损失，在生产上仍然具有重要的应用价值。

本研究通过对河南省玉米茎腐病发生情况的历史资料进行反复筛选和比较，最终建立了两阶段的玉米茎腐病预测模型，可以结合气象因子针对玉米生长的不同时期对茎腐病的发生及流行进行预测预报。在玉米生长中期采用第一阶段的预测模型进行预测，可以及时调整制定针对性强的玉米茎腐病防治方案，提高农药使用效率，减少农药施用量；在玉米生长后期采用第二阶段的预测模型进行预测，可以及时调整采收时间，对于预测玉米茎腐病严重的年份应提前收获，以减少后期倒伏造成的产量损失。本模型不需要辅助计算机程序或进行复杂的函数计算即可得到预测结果，操作简单方便，为指导大面积防治提供了科学依据。

由于引起玉米茎腐病的病原菌种类繁多，不同试验站之间的栽培管理、轮作制度等存在差异，故仅以气象因子预测茎腐病等级准确率还不是很高，同时需要注意本模型是基于‘郑单958’建立的，由于不同玉米品种间抗性存在差异，在实际应用时应综合考虑，以免影响模型的准确性。

参考文献

[1] 李学杰，张桂阁，吴明泉，等. 夏玉米成熟后期茎腐病对千粒重的影响[J]. 山东农业科学，2015(5)：93－95.

[2] 石洁，王振营，何康来. 黄淮海地区夏玉米病虫害发生趋势与原因分析[J]. 植物保护，2005，31(5)：63－65.

[3] 吴海燕，孙淑荣，范作伟，等. 玉米茎腐病生物防治技术研究[J]. 吉林农业科学，2006，31(4)：45－47.

[4] 张丹丹，闵营辉，袁虹霞，等. 9种化学药剂对玉米茎腐病菌的毒力测定及田间药效[J]. 河南农业科学，2010，39(8)：90－92.

[5] 王秀萍，杜子璇，张守林. 黄淮海夏玉米茎腐病发生等级气象指标研究[C]//第33届中国气象学会年会S14：提升气象科技创新能力，保障农业丰产增效. 中国气象学会，2006：5.

[6] 张文彤，董伟. SPSS统计分析高级教程[M]. 北京：高等教育出版社，2013：309.

[7] 张金. 棉蚜成翅机理及其发生程度预测模型研究[D]. 石河子：石河子大学，2009.

[8] 丁世飞，王志祥. 二代玉米螟发生动态的判别分析数学模型及其应用[J]. 玉米科学，1999，7(1)：77－80.

[9] 梁振中，黄建森. 小麦赤霉病分段预测模型的研究[J]. 植物保护学报，1991，18(2)：117－122.

[10] 云晓微，王海光，马占鸿. 利用高空风预测小麦条锈病研究初报[J]. 中国农学通报，2007，23(8)：358－363.

[11] KHOKHAR M, SHARMA S, GUPTA R. Effect of plant age and water stress on the incidence of post flowering stalk-rot of maize caused by *Fusarium verticillioides* [J]. Indian Phytopathology，2014，67(2)：143－146.

[12] 晋齐鸣，潘顺法，姜晶春，等. 玉米茎腐病病原菌致病性及侵染规律的研究[J]. 玉米科学，1995，3(2)：74－78.

[13] 中国农业科学院植物保护研究所，中国植物保护学会. 中国农作物病虫害(上册)[M]. 北京：中国农业出版社，2015：640－645.

（责任编辑：田 喆）